

УДК 621.923

Ф.В. НОВИКОВ, О. С. КЛЕНОВ**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛ РЕЗАНИЯ, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА ПЕРЕДНЕЙ И ЗАДНЕЙ ПОВЕРХНОСТЯХ РЕЗЦА**

Запропоновано новий теоретичний підхід до визначення сил різання, що діють на задній і передній поверхнях різця, з позиції окремого урахування процесів різання і тертя. Це дозволило виконати їх розрахунок на основі експериментально встановлених значень тангенціальної та радіальної складових сили різання і науково обґрунтовано підійти до визначення умов зменшення частки енергії тертя в загальному енергетичному балансі процесу різання. Наведено приклад розрахунку сил різання, що діють на задній і передній поверхнях різця при точінні, і показано, що частка енергії тертя в загальному енергетичному балансі процесу різання на задній поверхні різця при передньому куті різця $\gamma = 20^\circ$ порівнянна, а при $\gamma = -10^\circ$ значно більше частки енергії тертя в загальному енергетичному балансі процесу різання на передній поверхні різця. Отримані результати підтверджують достовірність запропонованого теоретичного підходу до визначення сил різання, що діють на задній і передній поверхнях різця.

Ключові слова: сила різання, різець, точіння, знос різця, задня поверхня різця, передній кут різця, тертя, енергетичний баланс.

Предложен новый теоретический подход к определению сил резания, действующих на задней и передней поверхностях резца, с позиции раздельного учета процессов резания и трения. Это позволило произвести их расчет на основе экспериментально установленных значений тангенциальной и радиальной составляющих силы резания и научно обоснованно подойти к определению условий уменьшения доли энергии трения в общем энергетическом балансе процесса резания. Приведен пример расчета сил резания, действующих на задней и передней поверхностях резца при точении, и показано, что доля энергии трения в общем энергетическом балансе процесса резания на задней поверхности резца при переднем угле резца $\gamma = 20^\circ$ сопоставима, а при $\gamma = -10^\circ$ значительно больше доли энергии трения в общем энергетическом балансе процесса резания на передней поверхности резца. Полученные результаты подтверждают достоверность предложенного теоретического подхода к определению сил резания, действующих на задней и передней поверхностях резца.

Ключевые слова: сила резания, резец, точение, износ резца, задняя поверхность резца, передний угол резца, трение, энергетический баланс.

A new theoretical approach to the determination of the cutting forces acting on the front and rear surfaces of the cutter, with the cutting position of the separate accounting processes and friction. This allowed them to settle on the basis of experimentally determined values of the tangential and radial components of the cutting forces and scientifically approach to determining the conditions of friction reduction of the share of energy in the overall energy balance of the cutting process. An example of calculating the cutting forces acting on the front and rear surfaces of the tool during turning, and it is shown that the proportion of the friction energy in the total energy balance of the process of cutting the rear surface of the cutter rake angle in cutter comparable $\gamma = 20^\circ$ and $\gamma = -10^\circ$ significantly greater proportion of energy friction in the overall energy balance cutting process on the front surface of the tool. These results confirm the accuracy of the proposed theoretical approach to the determination of the cutting forces acting on the front and rear surfaces of the cutter.

Keywords: cutting force, tool, turning, tool wear, the back surface of the tool, the tool rake angle, the friction energy balance.

Постановка проблеми. Процес точення являється одним з основних методів формоутворення поверхностей деталей машин різанням завдяки відносно низькій енергоємності обробки. Це дозволяє производити високопродуктивну обробку в широких діапазонах змінення параметрів режиму різання, включаючи високоскоростне різання. Використання сучасних збірних твердосплавних різців з износостійкими покриттями відкрило нові можливості інтенсифікації процесу обробки і досягнення високих показників якості оброблюваних поверхностей. Одним з обмежуючих факторів при цьому являється збільшення силової і теплової напруженості процесу різання в зв'язі з износом інструмента і утворення на ньому площинки износу. Тому важливо кількісно оцінити сили різання, що виникають на передній і задній поверхнях різця при різанні, в залежності від ступеня його износу і обґрунтувати умови їх зменшення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню сил різання, що виникають в процесі точення, в науково-технічній літературі приділено надзвичайно велику увагу [1–3]. Експериментально встановлено взаємозв'язки складових сил різання з основними технологічними параметрами обробки для різних оброблюваних і інструментальних матеріалів з урахуванням геометриче-

ських параметрів різця. На їх основі отримані емпіричні залежності. Однак, в науково-технічній літературі відсутні аналітичні залежності, окремо описують сили різання, що виникають на передній і задній поверхнях різця, з урахуванням величини площинки износу, що утворюється на задній поверхності різця. Відсутність цих залежностей не дозволяє в повній мірі оцінити роль довжини площинки износу в формуванні силової і теплової напруженості процесу різання і визначити умови, при яких можливий процес різання без погіршення якості оброблюваних поверхностей. Тому важливо встановити ці залежності.

Ціль роботи – розробка теоретичного підходу до визначення сил різання, що виникають на передній і задній поверхнях різця, з урахуванням величини площинки износу, що утворюється на задній поверхності різця.

Изложение основного материала. Тангенціальна P_z і радіальна P_y складові сили різання при точенні, обумовлені процесами різання і точення, в загальному вигляді можуть бути описані наступними залежностями [4–6]:

$$P_z = P_{z_{рез}} + P_{z_{тр}}; \quad (1)$$

$$P_y = P_{y_{рез}} + P_{y_{мп}}, \quad (2)$$

где $P_{z_{рез}}$; $P_{y_{рез}}$ – тангенциальная и радиальная составляющие силы резания, возникающие на передней поверхности резца, Н;

$P_{z_{мп}}$; $P_{y_{мп}}$ – тангенциальная и радиальная составляющие силы резания, возникающие на задней поверхности резца, вследствие трения обрабатываемого материала с площадкой износа, образующейся на задней поверхности резца, Н.

Как установлено в работе [6], отношение $P_{z_{рез}} / P_{y_{рез}} = \operatorname{ctg}(\psi - \gamma)$, где ψ – условный угол трения обрабатываемого материала с передней поверхностью резца ($\operatorname{tg} \psi = f$ – коэффициент трения); γ – положительный передний угол резца.

При условии $\gamma = 0$ отношение $P_{z_{рез}} / P_{y_{рез}} = \operatorname{ctg} \psi = 1/f$. С определенным приближением можно принять, что $P_{z_{мп}} / P_{y_{мп}} = f$. Тогда зависимости (1) и (2) выразятся:

$$P_z = P_{z_{рез}} \cdot \left(1 + \frac{P_{z_{мп}}}{P_{z_{рез}}} \right); \quad (3)$$

$$P_y = f \cdot P_{z_{рез}} + \frac{P_{z_{мп}}}{f} = P_{z_{рез}} \cdot \left(f + \frac{1}{f} \cdot \frac{P_{z_{мп}}}{P_{z_{рез}}} \right). \quad (4)$$

В результате удалось выразить составляющие силы резания P_z и P_y через отношение $P_{z_{мп}} / P_{z_{рез}}$. С его увеличением составляющие силы резания увеличиваются, что согласуется с практикой резания.

Поскольку коэффициент трения $f < 1$, и соответственно отношение $1/f$, стоящее во втором слагаемом зависимости (4), всегда больше коэффициента трения f , стоящего в первом слагаемом, то по мере увеличения отношения $P_{z_{мп}} / P_{z_{рез}}$ второе слагаемое будет существенно увеличиваться до значения первого слагаемого и более. Этим показано, что наличие отношения $1/f$, стоящего во втором слагаемом зависимости (4), предопределяет значительный рост радиальной составляющей силы резания P_y и, соответственно, повышение силовой и тепловой напряженности процесса резания, снижение качества и точности

обрабатываемых поверхностей с течением времени обработки, т.е. по мере износа резца по задней поверхности.

Очевидно, тангенциальная составляющая силы резания P_z , описываемая зависимостью (3), в значительно меньшей степени зависит от увеличения отношения $P_{z_{мп}} / P_{z_{рез}}$, чем радиальная составляющая силы резания P_y , описываемая зависимостью (4). Для оценки интенсивности изменения отношения P_z / P_y необходимо проанализировать зависимость:

$$\frac{P_z}{P_y} = \frac{\left(1 + \frac{P_{z_{мп}}}{P_{z_{рез}}} \right)}{\left(f + \frac{1}{f} \cdot \frac{P_{z_{мп}}}{P_{z_{рез}}} \right)}. \quad (5)$$

В табл. 1 приведены расчетные значения отношения P_z / P_y в зависимости от отношения $P_{z_{мп}} / P_{z_{рез}}$ для различных значений коэффициента трения f . Как видно, с увеличением отношения $P_{z_{мп}} / P_{z_{рез}}$ отношение P_z / P_y непрерывно уменьшается от значения $1/f$ (при $P_{z_{мп}} / P_{z_{рез}} = 0$) до значений, меньших единицы. Следовательно, в начальный момент обработки, когда $P_{z_{мп}} / P_{z_{рез}} = 0$, отношение $P_z / P_y = 1/f$ принимает значения, большие единицы, т.е. $P_z > P_y$. При значении $P_{z_{мп}} / P_{z_{рез}} = 0,5$ отношение P_z / P_y меньше единицы, т.е. $P_z < P_y$, а с уменьшением коэффициента трения f до значения 0,1 отношение P_z / P_y становится меньше единицы даже при меньшем значении $P_{z_{мп}} / P_{z_{рез}}$.

Чтобы определить значение отношения $P_{z_{мп}} / P_{z_{рез}}$, при котором отношение P_z / P_y становится равным единице, необходимо решить уравнение, полученное на основе зависимости (5):

$$\frac{\left(1 + \frac{P_{z_{мп}}}{P_{z_{рез}}} \right)}{\left(f + \frac{1}{f} \cdot \frac{P_{z_{мп}}}{P_{z_{рез}}} \right)} = 1. \quad (6)$$

Таблица 1 – Расчетные значения отношения P_z / P_y

| $P_{z_{мп}} / P_{z_{рез}}$ | 0 | 0,125 | 0,25 | 0,5 | 0,75 | 1 | 2 | 10 |
|----------------------------|------|-------|------|-------|-------|-------|------|-------|
| P_z / P_y для $f = 0,3$ | 3,33 | 1,57 | 1,1 | 0,763 | 0,625 | 0,55 | 0,43 | 0,32 |
| P_z / P_y для $f = 0,1$ | 10 | 0,83 | 0,48 | 0,294 | 0,23 | 0,198 | 0,1 | 0,099 |

В результате решения уравнения получено:

$$\frac{P_{z_{mp}}}{P_{z_{рез}}} = f. \quad (7)$$

Следовательно, отношение P_z/P_y принимает значение, равное единице при условии $P_{z_{mp}}/P_{z_{рез}} = f$, т.е. чем больше коэффициент трения f , тем больше значение $P_{z_{mp}}/P_{z_{рез}}$. Этим объясняются результаты расчетов, приведенные в табл. 1. Так, с увеличением коэффициента трения f (с 0,1 до 0,3) отношение $P_{z_{mp}}/P_{z_{рез}}$, при котором выполняется условие $P_z/P_y = 1$, увеличивается, а отношение P_z/P_y также принимает большие значения.

Полученное решение справедливо для нулевого переднего угла резца. В случае положительного переднего угла резца γ имеем [6]:

$$\frac{P_{z_{рез}}}{P_{y_{рез}}} = \operatorname{ctg}(\psi - \gamma) = \frac{(1 + f \cdot \operatorname{tg} \gamma)}{(f - \operatorname{tg} \gamma)}. \quad (8)$$

Тогда зависимость (2) примет вид:

$$P_y = P_{z_{рез}} \cdot \left(\frac{f - \operatorname{tg} \gamma}{1 + f \cdot \operatorname{tg} \gamma} + \frac{1}{f} \cdot \frac{P_{z_{mp}}}{P_{z_{рез}}} \right). \quad (9)$$

С увеличением переднего угла резца γ первое слагаемое в зависимости (9) уменьшается, что усиливает второе слагаемое в случае образования на задней поверхности резца площадки износа.

Отношение P_z/P_y с учетом зависимостей (1) и (9) опишется:

$$\frac{P_z}{P_y} = \frac{\left(1 + \frac{P_{z_{mp}}}{P_{z_{рез}}} \right)}{\left(\frac{f - \operatorname{tg} \gamma}{1 + f \cdot \operatorname{tg} \gamma} + \frac{1}{f} \cdot \frac{P_{z_{mp}}}{P_{z_{рез}}} \right)}. \quad (10)$$

Используя экспериментальные значения отношения P_z/P_y , можно рассчитать значения отношения $P_{z_{mp}}/P_{z_{рез}}$. Это открывает новые возможности анализа закономерностей изменения составляющих силы резания, обусловленных процессами резания и трения.

При условии $P_z/P_y = 1$ зависимость (10) принимает вид уравнения относительно неизвестной величины $P_{z_{mp}}/P_{z_{рез}}$:

$$\frac{\left(1 + \frac{P_{z_{mp}}}{P_{z_{рез}}} \right)}{\left(\frac{f - \operatorname{tg} \gamma}{1 + f \cdot \operatorname{tg} \gamma} + \frac{1}{f} \cdot \frac{P_{z_{mp}}}{P_{z_{рез}}} \right)} = 1. \quad (11)$$

Его решение:

$$\frac{P_{z_{mp}}}{P_{z_{рез}}} = \frac{\left(1 - \frac{f \cdot \operatorname{tg} \gamma}{1 + f \cdot \operatorname{tg} \gamma} \right) \cdot f}{(1 - f)}. \quad (12)$$

В табл. 2 приведены расчетные значения отношения $P_{z_{mp}}/P_{z_{рез}}$ в зависимости от переднего угла резца γ для $f = 0,3$. Как видно, с увеличением γ отношение $P_{z_{mp}}/P_{z_{рез}}$ увеличивается. Это указывает на то, что условие $P_z/P_y = 1$ выполняется при большем значении $P_{z_{mp}}$ по отношению к значению $P_{z_{рез}}$. Следовательно, в этом случае величина площадки износа, образующаяся на задней поверхности резца, меньше влияет на отношение P_z/P_y , т.е. в большем диапазоне изменения $P_{z_{mp}}/P_{z_{рез}}$ справедливо условие $P_z > P_y$ и с меньшей силовой напряженностью осуществляется процесс резания.

Таблица 2 – Расчетные значения отношения $P_{z_{mp}}/P_{z_{рез}}$

| γ , градус | 0 | 10 | 20 | 30 |
|--------------------------|-----|-------|-------|------|
| $P_{z_{mp}}/P_{z_{рез}}$ | 0,3 | 0,378 | 0,453 | 0,53 |

Для оценки достоверности полученного теоретического решения произведен анализ изменения отношения $P_{z_{mp}}/P_{z_{рез}}$ на основе экспериментальных значений составляющих силы резания при точении (рис. 1 [2]). В данном случае имеет место несвободное резание, поэтому в качестве величины P_y следует рассматривать величину $\sqrt{P_y^2 + P_x^2}$.

Приведенные в табл. 3 экспериментально установленные значения отношения P_z/P_y показывают, что с уменьшением переднего угла резца γ (т.е. с переходом от положительных к отрицательным значениям γ) они уменьшаются. Следовательно, чем больше положительный передний угол резца γ , тем больше отношение P_z/P_y и выше эффективность процесса резания, т.к. меньше интенсивность трения резца с обрабатываемым материалом.

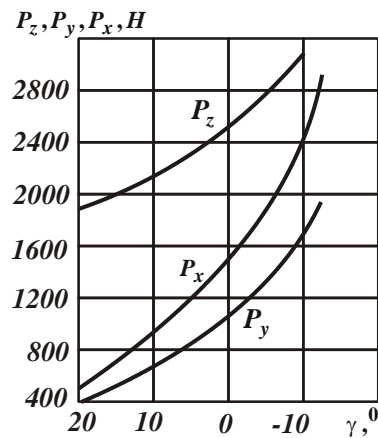


Рис. 1 – Влияние переднего угла на силы P_z, P_y, P_x при точении: сталь 40; $\varphi = 60^\circ$; $t = 4$ мм; $S = 0,285$ мм/об.; $V = 40$ м/мин [2]

Таблица 3 – Экспериментальные значения P_z, P_y и

P_z / P_y

| γ , градус | 20 | 10 | 0 | -10 |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|
| P_z , Н | 1850 | 2150 | 2550 | 3100 |
| P_y , Н | 600 | 1060 | 1740 | 2970 |
| P_z / P_y | 3,083 | 2,028 | 1,465 | 1,043 |

Как следует из табл. 3, при переднем угле резца $\gamma = -10^\circ$ отношение P_z / P_y практически равно единице. В общем случае установить зависимость между отношениями $P_{zmp} / P_{zрез}$ и P_z / P_y можно на основе уравнения (10), представляя его в виде:

$$\frac{P_{zmp}}{P_{zрез}} = \frac{\left[\left(\frac{f - tg\gamma}{1 + f \cdot tg\gamma} \right) - \frac{P_y}{P_z} \right]}{\left(\frac{P_y}{P_z} - \frac{1}{f} \right)}. \quad (13)$$

В табл. 4 приведены рассчитанные на основе зависимости (13) значения отношения $P_{zmp} / P_{zрез}$ для $f = 0,4$ с учетом экспериментальных значений P_z / P_y , полученных по данным табл. 3. Как видно, с уменьшением переднего угла резца γ они увеличиваются.

Таблица 4 – Расчетные значения $P_{zmp} / P_{zрез}$

| γ , градус | 20 | 10 | 0 | -10 |
|----------------------|--------|--------|-------|-------|
| P_z / P_y | 3,083 | 2,028 | 1,465 | 1,043 |
| $P_{zmp} / P_{zрез}$ | 0,1346 | 0,1415 | 0,155 | 0,22 |

Сравнивая полученное значение $P_{zmp} / P_{zрез} = 0,155$ (для $\gamma = 0$) с аналогичными значениями, приведенными в табл. 1, видно, что оно получено при относительно небольшом износе резца по задней поверхности, т.к. в противном случае оно принимало бы весьма большие значения ($P_{zmp} / P_{zрез} = 0,5 \dots 10$). Это указывает на то, что производились непродолжительные экспериментальные исследования, в результате чего резец изнашивался незначительно и поэтому отношение $P_{zmp} / P_{zрез}$ принимает небольшое значение.

Для определения значений составляющих силы резания $P_{zрез}$ и P_{zmp} необходимо воспользоваться зависимостью (3), представляя ее в виде:

$$P_{zрез} = \frac{P_z}{\left(1 + \frac{P_{zmp}}{P_{zрез}} \right)}. \quad (14)$$

Используя значения P_{zmp} , приведенные в табл. 4, в табл. 5 приведены рассчитанные на основе зависимостей (14) и $P_{zmp} = P_z - P_{zрез}$ значения $P_{zрез}$ и P_{zmp} .

Таблица 5 – Расчетные значения $P_{zрез}, P_{zmp}$ и

P_{zmp} / P_z

| γ , градус | 20 | 10 | 0 | -10 |
|-------------------|--------|--------|--------|------|
| $P_{zрез}$, Н | 1630,5 | 1883,5 | 2207,8 | 2541 |
| P_{zmp} , Н | 219,5 | 266,5 | 342,2 | 559 |
| P_{zmp} / P_z | 0,119 | 0,124 | 0,134 | 0,18 |

Как следует из табл. 5, с уменьшением переднего угла резца γ значения $P_{zрез}$ и P_{zmp} увеличиваются. Это связано с увеличением интенсивности трения в зоне резания. Однако $P_{zрез} > P_{zmp}$, т.к. производились непродолжительные экспериментальные исследования, резец изнашивался незначительно, и отношение $P_{zmp} / P_{zрез}$ принимало небольшие значения.

Отношение $P_{zmp} / (P_{zрез} + P_{zmp}) = P_{zmp} / P_z$, по физической сути определяет долю энергии трения в общем энергетическом балансе процесса резания на передней поверхности резца. Исходя из табл. 5, оно изменяется в небольших пределах 0,119...0,18, т.е. доля энергии трения составляет 11,9...18 %. Очевидно, уменьшить долю энергии трения можно увеличением переднего угла резца γ .

Составляющие силы резания $P_{yрез}$ и P_{ymp} , исходя из зависимости (9), определяются:

$$P_{y_{рез}} = \left(\frac{f - tg\gamma}{1 + f \cdot tg\gamma} \right) \cdot P_{z_{рез}}; \quad (15)$$

$$P_{y_{тр}} = \frac{1}{f} \cdot P_{z_{тр}}. \quad (16)$$

В табл. 6 приведены расчетные значения $P_{y_{рез}}$ и $P_{y_{тр}}$ с учетом значений $P_{z_{рез}}$ и $P_{z_{тр}}$ из табл. 5.

Таблица 6 – Расчетные значения $P_{y_{рез}}$, $P_{y_{тр}}$,

$P_{y_{тр}} / P_{y_{рез}}$ и $P_{y_{рез}} / P_y$

| γ , градус | 20 | 10 | 0 | -10 |
|----------------------------|-------|--------|-------|--------|
| $P_{y_{рез}}$, Н | 51,2 | 393,8 | 884,5 | 1572,5 |
| $P_{y_{тр}}$, Н | 548,8 | 663,3 | 855,5 | 1397,5 |
| P_y , Н | 600 | 1057,1 | 1740 | 2970 |
| $P_{y_{тр}} / P_{y_{рез}}$ | 10,72 | 1,69 | 0,97 | 0,89 |
| $P_{y_{рез}} / P_y$ | 0,085 | 0,373 | 0,508 | 0,53 |

Как следует из табл. 6, с уменьшением переднего угла резца γ значения $P_{y_{рез}}$ и $P_{y_{тр}}$ увеличиваются. При этом в диапазоне $\gamma = 20 \dots 0^\circ$ выполняется условие $P_{y_{тр}} > P_{y_{рез}}$, а при условии $\gamma < -10^\circ$, наоборот, $P_{y_{тр}} < P_{y_{рез}}$, что связано с ухудшением условий стружкообразования при резании.

Отношение $P_{y_{тр}} / P_{y_{рез}}$ с уменьшением переднего угла резца γ уменьшается, особенно интенсивно в диапазоне $\gamma = 20 \dots 0^\circ$.

С целью проверки правильности выполненных расчетов в табл. 6 приведены расчетные значения радиальной составляющей силы резания $P_y = P_{y_{рез}} + P_{y_{тр}}$. Как видно, они фактически совпадают с экспериментально установленными значениями (табл. 3). Это свидетельствует о достоверности выполненных расчетов и предложенного теоретического подхода к определению сил резания, возникающих на передней и задней поверхностях резца при точении, с учетом величины площадки износа, образующейся на задней поверхности резца.

Отношение $P_{y_{рез}} / (P_{y_{рез}} + P_{y_{тр}}) = P_{y_{рез}} / P_y$, по физической сути определяет долю энергии трения в общем энергетическом балансе процесса резания на задней поверхности резца. Исходя из табл. 6, оно изменяется в широких пределах (0,085...0,53), т.е. доля энергии трения составляет 8,5...53 %. Уменьшить долю энергии трения можно увеличением переднего угла резца γ . Как видно, доля энергии трения в общем энергетическом балансе процесса резания на задней поверхности резца при переднем угле резца

$\gamma = 20^\circ$ сопоставима, а при $\gamma = -10^\circ$ значительно больше доли энергии трения в энергетическом балансе процесса резания на передней поверхности резца.

Выводы. В работе получены аналитические зависимости для определения сил резания, действующих на задней и передней поверхностях резца, с позиции раздельного учета процессов резания и трения. Это позволило произвести их расчет на основе экспериментально установленных значений тангенциальной и радиальной составляющих силы резания и научно обоснованно подойти к определению условий уменьшения доли энергии трения в общем энергетическом балансе процесса резания. Приведен пример расчета сил резания, действующих на задней и передней поверхностях резца при точении, и показано, что доля энергии трения в общем энергетическом балансе процесса резания на задней поверхности резца при переднем угле резца $\gamma = 20^\circ$ сопоставима, а при $\gamma = -10^\circ$ значительно больше доли энергии трения в общем энергетическом балансе процесса резания на передней поверхности резца. Полученные результаты подтверждают достоверность предложенного теоретического подхода к определению сил резания, действующих на задней и передней поверхностях резца.

Список литературы:

1. Грановский Г.И. Резание металлов: учебник / Г.И. Грановский, В.Г. Грановский – М.: Высшая школа, 1985. – 304 с.
2. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов / В.Ф. Бобров. – М.: Машиностроение, 1975. – 343 с.
3. Резание металлов / С.Н. Филоненко. – К.: Вища школа, 1969. – 260 с.
4. Алмазная обработка: учеб. пособие / А.В. Якимов, Ф.В. Новиков, Г.В. Новиков, А.А. Якимов. – К.: ИЗМН, 1996. – 168 с.
5. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. – В десяти томах. – Одесса: ОНПУ, 2002. – Т. 1. "Механика резания материалов". – 580 с.
6. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. – В десяти томах. – Одесса: ОНПУ, 2002. – Т. 4. "Теория абразивной и алмазно-абразивной обработки материалов". – 802 с.

References (transliterated)

1. Granovskiy G.I., Granovskiy V.G. *Rezanie metallov: uthebnik* [Metal Cutting: a textbook] Moscow, Vyschaya shkola, 1985, 304 p.
2. Bobrov V.F. *Osnovy teorii rezaniya metallov* [Fundamentals of metal cutting theory] Moscow, Mashinostroenie, 1975. 343p.
3. Filonenko S.N. *Rezanie metallov* [Cutting metals] Kiev, Vysha shkola, 1969. 260 p.
4. Yakimov A.V., Novikov F.V., Novikov G.V., Yakimov A.A. *Almaznaya obrabotka: utheb. Posobie* [Diamond Processing: Proc. benefit] Kiev, IZMN, 1996. 168 p.
5. Novikova F.V., Yakimova A.V. *Fiziko-matematicheskaya teoriya protsessov obrabotki materialov i tekhnologii mashinostroeniya* [Physical and mathematical theory of processing materials and manufacturing engineering] Odessa: ONPU, 2002. Vol. 1. "Mekhanika rezaniya materialov". 580 p.
6. Novikova F.V., Yakimova A.V. *Fiziko-matematicheskaya teoriya protsessov obrabotki materialov i tekhnologii mashinostroeniya* [Physical and mathematical theory of processing materials and manufacturing engineering] Odessa: ONPU, 2002. Vol. 4. "The theory of abrasive and diamond-abrasive processing of materials". 802 p.

Поступила (received) 21.05.2016

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic description

Визначення сил різання, що діють на передній та задній поверхнях різця / Ф. В. Новіков, О. С. Кленов // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні. – Х.: НТУ «ХПІ», 2016. – № 5 (1177). – С. 81–86. – Бібліогр.: 6 назв. – ISSN 2079-0023.

Определение сил резания, действующих на передней и задней поверхностях резца / Ф. В. Новиков, О. С. Кленов // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 5 (1177). – С. 81–86. – Библиогр.: 6 назв. – ISSN 2079-0023.

Determination of cutting forces acting on the front and rear surfaces of the cutter / F. V. Novikov, O. S. Klenov // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Technologies in mechanical engineering. – Kharkov: NTU "KhPI", 2016. – No. 5 (1177). – P. 81–86. – Bibliogr.: 6. – ISSN 2079-0023.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Новіков Федір Васильович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Природничі науки та технології» Харківського національного економічного університету імені Семена Кузнеця, м. Харків; тел.: (0572) 69-55-62; e-mail: fokusnic1@rambler.ru.

Новиков Федор Васильевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Естественные науки и технологии» Харьковского национального экономического университета имени Семёна Кузнеця, г. Харьков; тел.: (0572) 69-55-62; e-mail: fokusnic1@rambler.ru.

Novikov Fedor Vasilivich – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Head of Department of "Science and Technology" Kharkiv National Economic University named after Semen Kuznets, Kharkiv; tel.: (0572) 69-55-62; e-mail: fokusnic1@rambler.ru.

Кленов Олег Станіславович – кандидат технічних наук, директор, Фірма «ДіМерус Інженерінг» ТОВ, м. Харків; тел.: +38-050-34-30-822; e-mail: dimerus@dimerus.com.

Кленов Олег Станіславович – кандидат технических наук, директор, Фирма «ДиМерус Инженеринг» ООО, г. Харьков; тел.: +38-050-34-30-822; e-mail: dimerus@dimerus.com.

Klenov Oleg Stanislavovich – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), director of the firm "DiMerus Engineering" Ltd, Kharkiv; tel.: +38-050-34-30-822; e-mail: dimerus@dimerus.com.